

文章编号: 1002-0268 (2001) 04-0074-05

判定跟驰状态的研究

何 民, 荣 建, 任福田
(北京工业大学交通工程研究所, 北京 100022)

摘要: 在大量实际观测交通流数据的基础上, 深入分析跟驰车辆运行特性与车头时距的关系, 提出利用相对速度绝对值随车头时距变化的规律定量地判定车辆行驶状态的新方法, 即利用坐标变换确定车辆跟驰状态与自由行驶状态转折点。通过大量实测数据对该方法的验证表明, 车头时距低于 5s 的车辆处于跟驰状态, 而大于 8s 的车辆处于自由行驶状态; 同时, 车速对跟驰状态的界限没有显著影响。
关键词: 跟驰状态; 阈值; 坐标变换; 相对速度; 车头时距
中图分类号: U491 **文献标识码:** A

Study on Car-following Behavior Recognition

HE Min, RONG Jian, REN Fu-tian
(Transportation Research Center, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: Based on more than 180, 000 field data collected at GuangFuo and JingShi expressway, the relationship between the kinematical characteristics of car following and time headway is analyzed in detail. A new methodology is provided for quantitatively recognizing car-following status on the basis of variational law between the absolute value of relative speed difference and time headway. A coordinated transformation method is devised to identify the turning point from car-following status to free drive status. Through the validation of field data, it finds out that: 1) vehicle with headway less than 5s should be recognized as following vehicle. 2) vehicle with headway more than 8s should be recognized as free vehicle. 3) travel speed has no obvious effects on the threshold values from car-following status to free flow status.
Key words: Car-following status; Threshold value; Coordinate transformation; Relative speed; Time headway

0 前言

交通流跟驰理论是研究在单一车道上车辆排队行驶时, 后车跟随前车的行驶状态, 并用数学模式加以分析阐明的一种理论。为深入了解交通流特性以及人车单元在 ITS 技术下的特性, 跟驰理论作为交通流微观仿真与 ITS 技术运用的基础模型, 再次成为研究热点^[1]。

在以往的研究中, 对于跟驰行驶提出了多种不同的定义。美国 HCM (1994 版)^[2] 中, 判定双车道公路延误时, 认为当车头时距 $\leq 5s$ 时, 车辆处于跟驰状

态。Paker^[3] 在研究货车对通行能力影响时也采用了 5s 车头时距作为判定车辆跟驰的标准。北京工业大学常成利^[4] 研究双车道公路延误时, 提出以 6s 作为划分跟驰状态的界限。Traffic Flow Theory^[5] 认为跟驰行为发生在两车车头间距为 0~100m 或 0~125m 的范围内。Weidman^[6] 的研究则认为: 车头间距 $\leq 150m$ 时, 车辆处于跟驰状态。可见, 到目前为止, 对于跟驰状态的判定没有明确的方法^[7], 缺乏共同认可的结论。同时, 在各项研究中没有考虑到车速对判定跟驰状态的影响。本文结合中国当前高速公路中的交通流特性, 阐述了判定车辆跟驰状态的方法, 提出了在各

收稿日期: 2000-10-19
基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目 (95-403-02), 北京工业大学博士启动基金资助
作者简介: 何民 (1972-), 男, 云南会泽人, 昆明理工大学讲师, 北京工业大学在读博士, 主要从事交通流理论、交通规划和交通组织优化研究。

种车速条件下划分车辆跟驰状态的标准。

1 数据采集与分析

1.1 数据采集

研究跟驰行为，需要有自由流与非自由流状态下的交通流微观参数。本文所用的数据采集于广佛、京石、京哈高速公路的基本路段，通过观测，共采集到196 049个单车信息，包含了从50~1 900veh/h流量区间的交通流信息。根据实际交通情况删除了轴距小于0.9m和采集仪无法判明车型以及车速大于160km/h的单车数据，这些数据占总观测量的5.87%。最终获得有效的前后车对数据共184 546项。数据采集情况见表1。广东省的数据用于确定判定方法和参数，而北京的数据则用于进行验证。

数据采集点说明			表 1
采集点编号	数据用途	调查时间	调查地点
1	判定	1998 9.22. ~ 23.	广州—佛山双向四车道
2	判定	1998 1.14. ~ 15.	广州—佛山双向四车道
3	验证	1999 5.26.	北京—石家庄双向四车道
4	验证	1998 11.14.	北京—哈尔滨双向四车道

1.2 相对速度与后车车头时距的关系

用1998年1月14、15日于广州—佛山高速公路外侧车道采集的数据，分析相对速度（前车车速减去后车车速）与后车车头时距之间的关系（图1）。从图1可以看出，当两车的车头间隔较小时，相对速度在零轴附近密集；而随着车头间隔的增加，相对速度的离散程度增大。可见，相对速度能够在一定程度上反映两车之间的运行状况。

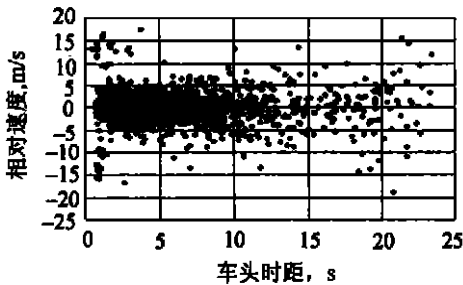


图1 相对速度-车头时距散点图

1.3 车速的影响分析

不同的速度下，车辆会选择不同的车头间隔。根据广佛高速公路上实测的数据，车头时距与车速关系基本为二次抛物线型（图2）。这表明车速对驾驶员选择车头间隔存在着显著而有规律的影响，因此，在进行车辆跟驰状态的判定时，需要考虑车速对车头间隔的影响。

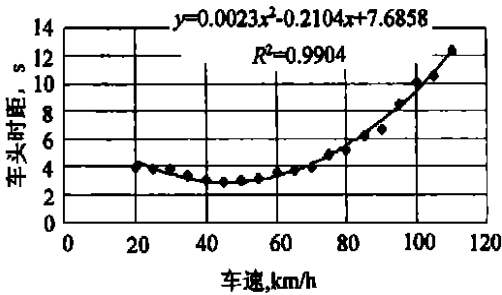


图2 车速-车头时距关系

2 车辆跟驰状态的判定方法

2.1 跟驰状态判定的依据

Paker^[3]，Chishaki^[7]等认为，车辆处于跟驰状态的基本条件是前车车速低于后车的期望车速，通过判断前车速度是否小于后随车的期望车速来判定车辆是否处于跟驰状态。在跟驰理论的研究中经常使用这种方法，但这种判定在实际应用中却遇到了问题。

(1) 跟驰过程是一个振荡过程 (Oscillating processes)，驾驶员通过不断地加减速，尽量保持前导车速度。此过程中，后随车的速度有可能达到期望速度，同时又低于前导车速度。由于该状态维持的时间相当短暂，并不能认为这一时刻车辆状态由跟驰变为非跟驰。

(2) 各车的期望车速难以实测，使该方法可操作性不强。而Chishaki等^[7]将所有车速低于35km/h的车辆都认为是跟驰车辆，这又有悖于我国的实际情况。以广佛高速公路的实测数据为例，车速低于35km/h的车辆中，有1 317辆的车头时距大于10s，占14.59%；有1 323辆车头间距大于100m，占14.66%。这些车辆速度虽小，但从车辆能够自由行驶的时间和空间来看，都具有较大的自由度，显然不应该归为跟驰车辆。

笔者认为，跟驰行为是指后随车的自由度受到前车限制，不得不跟随前车行驶的行为。此时，驾驶员比自由驾驶时更需要关注前车的速度变化，其运行特性与自由驾驶时存在显著的差异。因此，应以车辆运行特性与自由状态相比发生明显改变为依据判定车辆是否受到制约，从而判定车辆是否处于跟驰状态。

本文通过分析相对速度绝对值随车头时距的变化规律来确定车辆在不同自由度下的行驶行为差异，从而判定车辆是否处于跟驰状态。

2.2 跟驰状态的判定

为了考察车头时距与相对速度绝对值的关系，将实测数据按照1s为间隔进行分组处理，分组原则为：(1) 保证每一组数据具有足够的样本量；(2) 分组后

的数据应尽量保持原来的数据特征。分组处理后，得到车头时距与相对速度绝对值间的关系如图 3 所示。

图 3 为样本 4 的车头时距与前后车相对速度绝对值之间的关系，可以看出，在 1.5~8s 之间，相对速度绝对值随着车头时距的增加而近乎线性增大。在 10s 以上，相对速度稳定在一定的范围，并伴有波动。分析其余各样本，其结果均呈现出类似的规律。

可以设想，车头时距较小时，后车自由度受限严重，不能长时间以较大相对速度跟随行驶，车辆处于跟驰状态；随着车头时距增加，受限程度降低，后车就能够选择一个比较符合自己愿望的车速前进，就总体而言，两车相对速度增大，同时保持一定的波动，

反映出人车单元的特性差异，此时，后车处于自由行驶状态。由此，可以将相对速度绝对值由线性增长转变为水平波动的转折点认为是车辆由跟驰状态向自由状态发生变化的转折点。

对图形分析可知，相对速度随车头时距的变化曲线基本可以分为上升阶段和水平两个部分，如图 4 曲线 *abc* 所示。通过坐标变换的方法可以找到曲线的转折点 *b*。取车头时距小的 *a* 点作为坐标原点，将原坐标平移到该点，然后在曲线的水平波动部分选一点 *c*，将 *x* 轴旋转到 *ac*。这样，新坐标系中 *y* 值最大的点就是曲线 *abc* 的转折点。对实测数据按上述方法处理，得到结果见表 2。

判定与验证数据处理结果 表 2

时距等级	样本 1		样本 2		样本 3		样本 4		样本 5		样本 6		样本 7	
	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标	相对速度	新坐标
	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值	绝对值	的 <i>y</i> 值
1	3 762	0 000	5. 899	0. 000	3. 622	0. 000	9 645	0 000	5. 109	0. 000	2 829	0. 000	4 178	0 000
2	5 939	1 568	7. 993	0. 957	5. 634	0. 958	11 821	1 390	7. 123	1. 189	4. 555	0. 811	5 835	0 652
3	7 201	2 303	10. 223	2. 017	7. 772	2. 015	13 506	2 354	9. 432	2. 629	6. 134	1. 502	8 036	1 727
4	8 715	3 267	10. 899	1. 890	8. 967	2. 332	14 804	2 983	11. 253	3. 653	6. 744	1. 410	9 056	1 885
5	9 889	3 922	11. 600	1. 781	10. 080	2. 585	15 700	3 263	12 117	<u>3. 863</u>	8. 207	<u>2. 007</u>	10 507	2 378
6	10 540	4 100	13. 080	<u>2. 268</u>	10. 861	2. 577	17 133	<u>4. 009</u>	12 429	3. 604	8. 475	1. 637	11 435	<u>2. 465</u>
7	10 736	3 865	13. 696	2. 095	11. 791	<u>2. 686</u>	16 258	2 752	13. 483	3. 976	9. 197	1. 635	12 092	2 343
8	12 205	<u>4. 788</u>	13. 760	1. 499	11. 821	2. 089	17 581	3 402	12 722	2. 803	10. 279	1. 925	11 693	1 402
9	11 425	3 644	12. 374	-0. 206	12. 772	2. 215	18 464	3 671	13. 030	2. 539	10. 784	1. 747	14 089	2 627
10	12 300	4 047	14. 203	0. 549	13. 038	1. 804	19 281	3 882	15. 558	4. 166	10. 503	0. 933	13 063	1 199
11	15 297	6 361	14. 776	0. 343	12. 131	0. 471	16 271	0 773	14. 648	2. 866	11. 136	0. 859	14 067	1 346
12	15 068	5 739	14. 504	-0. 510	11. 911	-0. 321	16 969	0 882	15. 120	2. 742	10. 483	-0 258	13 210	0 050
13	16 833	6 932	15. 513	-0. 384	13. 976	0. 678	18 269	1 512	14. 428	1. 628	14. 219	2. 181	14 048	0 068
14	16 344	6 072	17. 998	0. 873	14. 804	0. 707	19 193	1 816	14. 866	1. 477	12. 149	-0 082	15 038	0 203
15	10 128	0 000	17. 700	0. 000	14. 693	0. 000	17 673	0 000	13. 749	0. 000	12. 975	0. 000	15 591	0 000

时距等级	样本 8		样本 9		样本 10		样本 11		样本 12		样本 13		样本 14	
1	6 391	0 000	7. 970	0. 000	6. 263	0. 000	6 759	0 000	5. 653	0. 000	6. 421	0. 000	6 030	0 000
2	7 092	-0 043	10. 065	1. 222	8. 350	1. 256	7 514	0 159	8. 885	2. 042	9. 937	2. 222	9 670	1 954
3	9 561	1 326	12. 039	2. 342	10. 748	2. 776	9 433	1 329	11. 605	3. 667	11. 482	2. 863	12 421	3 263
4	11 002	1 873	12. 094	1. 848	11. 676	3. 044	11 116	2 294	13. 333	4. 487	13. 696	4. 041	13 326	3 233
5	11 656	1 792	12. 930	2. 012	12. 217	2. 982	11 515	2 144	13. 130	3. 739	14. 295	3. 924	14 239	3 207
6	13 340	<u>2. 534</u>	15. 067	<u>3. 270</u>	14. 059	<u>4. 029</u>	13 893	<u>3. 713</u>	14. 160	3. 992	15. 048	3. 930	16 407	<u>4. 093</u>
7	12 629	1 364	14. 616	2. 349	13. 215	2. 786	12 795	2 263	14. 455	3. 648	16. 022	<u>4. 113</u>	15 524	2 764
8	13 907	1 781	13. 410	0. 794	13. 898	2. 845	13 798	2 638	16. 233	<u>4. 509</u>	15. 180	2. 841	16 989	3 140
9	13 746	1 051	15. 878	2. 330	14. 331	2. 691	14 361	2 631	14. 331	2. 380	13. 983	1. 283	17 821	3 056
10	15 251	1 650	14. 780	0. 866	14. 000	1. 886	15 886	3 459	15. 153	2. 464	16. 782	2. 930	18 798	3 077
11	14 247	0 246	14. 997	0. 509	14. 396	1. 700	14 096	1 408	16. 785	3. 206	14. 447	0. 460	18 451	2 138
12	15 382	0 550	16. 223	1. 000	15. 400	2. 033	14 357	1 139	13. 737	0. 147	15. 387	0. 617	18 519	1 499
13	17 077	1 330	15. 156	-0. 439	14. 502	0. 744	14 342	0 629	16. 907	2. 139	15. 884	0. 417	20 363	2 150
14	15 181	-0 816	14. 972	-1. 134	12. 523	-1. 465	16 416	1 934	16. 347	1. 101	13. 942	-1 737	17 805	-0. 395
15	16 958	0 000	16. 962	0. 000	14. 856	0. 000	14 760	0 000	15. 711	0. 000	16. 854	0. 000	19 297	0 000

由表中处理的结果可以看出，各个样本得到的结果具有较强的相似性，总是围绕在 6s 附近波动，各点判定的转折点均值为 6.125s。

2 3 车速对跟驰状态界限的影响分析

由于进行车速影响分析需要大量数据，本文将广佛高速公路 1998 年 1 月 14、15 日采集的数据作为一

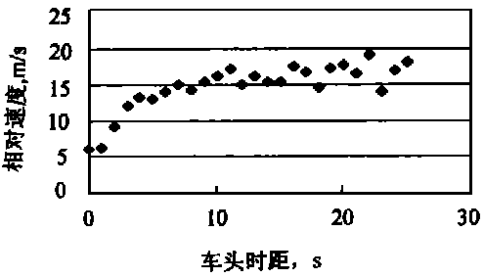


图3 样本4车头时距-相对速度关系

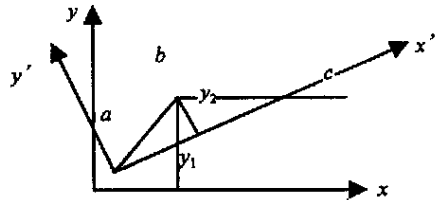


图4 坐标变换求曲线转折点

个样本 A，而将广佛高速公路 1998 年 9 月 22、23 日采集的数据作为 B，以速度区间 30km/h 划分后，按照 2.2 节所述方法进行车辆跟驰状态的判定，结果如表 3 所示。车速低于 30km/h 和高于 120km/h 的速度

区间无足够样本量进行分析。样本 B 的处理结果如图 5 所示，图中由左向右分别为车速等级 30~60、60~90、90~120km/h。

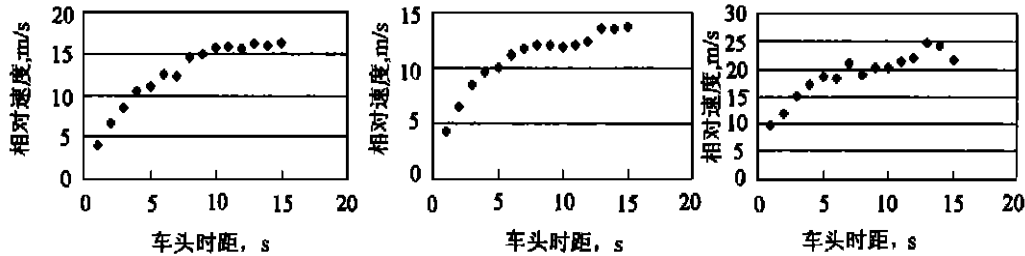


图5 车速对跟驰状态判定的影响

车速对跟驰判定的影响分析

表 3

样本	A（30~60km/h）			A（60~90km/h）			A（90~120km/h）			B（30~60km/h）			B（60~90km/h）			B（90~120km/h）		
判定值	7s			6s			6s			8s			6s			7s		
时距等级	相对速度绝对值	新坐标的 y 值		相对速度绝对值	新坐标的 y 值		相对速度绝对值	新坐标的 y 值		相对速度绝对值	新坐标的 y 值		相对速度绝对值	新坐标的 y 值		相对速度绝对值	新坐标的 y 值	
1	3.8138	0.0000		4.6845	0.0000		18.9065	0.0000		3.9443	0.0000		4.1597	0.0000		9.7574	0.0000	
2	5.3054	0.5036		6.5217	1.0188		14.0258	-4.4906		6.6656	1.3752		6.4810	1.3431		11.7953	0.9072	
3	7.3864	1.4596		8.6210	2.2591		18.4567	-1.5685		8.5171	2.0990		8.4650	2.4085		15.1707	2.8345	
4	8.7355	1.8539		9.5654	2.5232		19.4225	-1.4049		10.5681	2.9722		9.7229	2.8762		17.1439	3.6924	
5	9.7875	2.0201		10.5692	2.8375		22.4765	0.4211		11.0923	2.7020		10.0820	2.6040		18.4852	4.0684	
6	9.8481	1.4255		11.4374	<u>3.0371</u>		24.3319	<u>1.2929</u>		12.5945	3.1643		11.3451	<u>3.0760</u>		18.3316	<u>3.3044</u>	
7	11.5790	<u>2.1128</u>		11.4519	2.5151		23.5620	0.0748		12.3816	2.3421		11.7440	2.8366		21.0995	<u>4.7683</u>	
8	11.0298	1.0502		11.1226	1.7025		23.7224	-0.4027		14.6774	<u>3.3987</u>		12.0740	2.5405		18.9703	2.4977	
9	11.5489	0.8075		11.8482	1.7816		23.3796	-1.2808		15.0199	2.9924		12.1380	2.0254		20.3310	2.8885	
10	13.7147	1.8286		12.7282	1.9913		23.6300	-1.6867		15.7743	2.8947		11.9604	1.3114		20.3148	2.2293	
11	13.2421	0.8248		13.1602	1.8222		24.6280	-1.4974		15.8667	2.3011		12.0433	0.8119		21.4938	2.4815	
12	13.9212	0.7048		12.0196	0.3238		30.1902	2.3253		15.6362	1.4658		12.5156	0.6329		22.0381	2.2498	
13	13.8502	0.0092		12.0327	-0.199		25.1653	-2.2801		16.3215	1.3163		13.5893	0.9489		24.7222	3.6498	
14	14.3990	-0.2107		13.1911	0.2456		21.4364	-5.8538		16.0396	0.44725		13.6181	0.4049		24.2544	2.6462	
15	15.5089	0.0000		13.5326	0.0000		29.5500	0.0000		16.3337	0.0000		13.8160	0.0000		21.6327	0.0000	

从表中可以看出，当车速由 30 变化到 90km/h 时，样本 A 分析出的跟驰界限分别为 7s、6s、6s，而样本 B 点的判定标准分别为 8s、6s、7s。可见，车速对于跟驰状态的判定并没有显著的影响。

3 验证

采用 2.2 节的方法，分析了北京—哈尔滨、北京—石家庄高速公路的实测数据，结果如表 4 所示。可以看到，其结果与前述结论相当一致，表明该方法切实可行。

广佛高速与京石、京哈高速判定结果验证对比 表 4

广佛高速	样本点								均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	
判定结果	8	6	7	6	5	5	6	6	6 125

京石、京哈高速	样本点						均值
	9	10	11	12	13	14	
判定结果	6	6	6	8	6	5	6 167

4 结论

- (1) 利用相对速度判定车辆跟驰状态具有较普遍的规律性，计算各实测数据得到的结果相当一致。
- (2) 利用坐标变换的方法，可以确定跟驰与非跟驰状态的转折点，方法简单，易行。
- (3) 以车头时距为指标进行车辆跟驰状态的判定基本不受车速的影响。
- (4) 综合实测数据分析结果，当车头时距大于 8s 时，车辆处于自由行驶状态；而车头时距小于 5s 时，车辆则处于跟驰行驶状态；5 ~8s 之间，车辆处于过渡状态。

参考文献:

[1] 何民, 刘小明, 荣建. 交通流跟驰模型研究进展. 合肥: 人类

工效学, 2000, 6 (2): 50—56.
[2] Special Report 209. Highway Capacity Manual. Third edition. Washing-
ton DC: TRB, National Research Council, 1994.
[3] Paker M T. The Effect of Heavy Goods Vehicles and Following Behavior
on Capacity at Motorway Roadwork Sites. Traffic Engineering+ Control,
1996 37 (9): 524—531.
[4] 常成利, 邢惠臣, 肖秋生. 双车道公路服务水平评价指标研
究. 北京: 公路交通科技 1999, 16 (2): 57—61.
[5] N H Gartner, C J Messer, A K Rathi. Traffic flow theory (update of
TRB Special Report 165). Washington DC: TRB 1997.
[6] Wiedemann R, etc. Microscopic Traffic Simulation/ The Simulation Sys-
tem-Mission. University Karlsruhe 1992.
[7] Takeshi Chishaki, Youichi Tamura. Headway Distribution model based
on the distinction between leader and following. Ninth International Sym-
posium on Transportation and Traffic Theory, 1984 VUN Science Press;
43—63.